



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Elina Laks

**PLASTJÄÄTMETE TAASKASUTUSE TEHNOLOOGIATE
UURIMUS**
RESEARCH OF PLASTIC WASTES RECYCLING
TECHNOLOGIES

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Lemmik Käis, *MSc*

Tartu 2018

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Elina Laks		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Plastjäätmete taaskasutuse tehnoloogiate uurimus			
Lehekülgi: 38	Jooniseid: 16	Tabeleid: 12	Lisasid: -
<p>Õppetool: Biomajandustehnoloogiate õppetool</p> <p>ETIS Teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika</p> <p>ETIS Teaduseriala: 4.16 Biotehnoloogia (loodusteadused ja tehnika)</p> <p>CERCS Teaduseriala: T150 Materjalitehnoloogia</p> <p>Juhendaja: Lektor Lemmik Käis</p> <p>Kaitsmiskoht ja –aasta: Tartu 2018</p>			
<p>Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on uurida erinevate plastjäätmete taaskasutuse tehnoloogiaid. Uuritakse erinevaid plaste ja nende uudseid olemasolevaid ümbertöötamise võimalusi maailmas. Leitud tehnoloogiad kirjeldatakse ja hiljem analüüsitakse seda, kuidas oleks võimalik neid Eestis rakendada.</p> <p>Töö koosneb kolmest peatükist. Esimene peatükk annab ülevaate plastide ajaloost, valmistamisest ja liigitusest. Teises peatükis on kirjeldatud tehnoloogiaid jäätmete kogumisest, toodete valmistamisest, plastjäätmete kasutamisest ehituses ja nende lagundamisest. Kolmandas peatükis analüüsitakse seda, kuidas kasutada leitud tehnoloogiaid Eesti tingimustes.</p>			
Märksõnad: plast, taaskasutus, tehnoloogia, jäätmed			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Elina Laks		Speciality: Production Engineering	
Title: Research of plastic wastes recycling technologies			
Pages: 38	Figures: 16	Tables: 12	Appendixes: -
<p>Chair: Chair of Biosystems Engineering</p> <p>ETIS field of research: 4. Natural Sciences and Engineering</p> <p>ETIS scientific profession: 4.16 Biotechnology relating to Natural Sciences and Engineering</p> <p>CERCS scientific profession: T150 Material technology</p> <p>Supervisor: Lecturer Lemmik Käis</p> <p>Place and date: Tartu 2018</p>			
<p>The aim of the bachelor's thesis is to research different technologies to recycle plastic waste. Also, research of plastic and already existing new ways to recycle. The technologies are described and analyzed so they could be used in Estonia if possible.</p> <p>Thesis consists of three chapters. The first chapter gives an overview about plastics history, their production and classification. The second chapter describes technologies about collecting waste, their use in making new products, plastic waste use in road and civil engineering and garbage decomposition. The third chapter analyzes opportunities to use technologies described in the second chapter to use in Estonia.</p>			
Keywords: plastic, recycling, technology, waste			

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	2
ABSTRACT	3
TÄHISED	5
SISSEJUHATUS	6
1. PLASTID	7
1.1. Plastide ajalugu	7
1.2. Plastide valmistamine	9
1.3. Plastide liigitus ja omadused	9
1.4. Plastide taaskasutus	12
2. PLASTI TAASKASUTAMISE TEHNOLOOGIAD	15
2.1. Plastjäätmete puhastamine merest	15
2.1.1. Mullivanni efekt	15
2.1.2. Mereprügikast	16
2.1.3. Plastikalaustus	17
2.2. Plastprügist valmistatud tooted	18
2.2.1. Plastist jalatsid	19
2.2.2. Polüester niit	19
2.2.3. Rula	20
2.2.4. Prilliraamid	20
2.3. SORPLAS TM	21
2.4. Plastjäätmehävitamine	23
2.4.1. India hävitamine	23
2.4.2. Euroopa hävitamine	23
2.5. Plastjäätmehävitamine	24
2.5.1. Tellised	25
2.5.2. Massachusettsi Tehnikainstituut	25
2.5.3. PlastRex	25
2.6. Plastide lagunemise tehnoloogiad	26
2.6.1. Tehisensüüm	26
2.6.2. Vahaleediku röövik	26
2.6.3. Prügist plastiks	26
3. ARUTELU JA TULEMUSED	28
3.1. Plastjäätmehävitamine Eestis	28
3.2. Jäätmete kogumine	29
3.3. Tooted	31
3.4. Ehitus	31
3.5. Tulemused	32
KOKKUVÕTE	34
KASUTATUD KIRJANDUS	35
SUMMARY	37
Lihthitsid	38

TÄHISED

ABS – akrüülnitriil-butadien-stüreenplast

CA – tselluloosatsetaat

HDPE – kõrgtihe polüetüleen

LDPE – madaltihe polüetüleen

MF – melamiin

PA – polüamiid

PC – polükarbonaat

PE - polüestervaik

PET – polüetüleen-tereftalaat

PHA – polühüdoksüalkanoaadid

PI - polüimiid

PLA – polüpiimhape

PMMA - polümetüülmetakrülaad

PP – polüpropeen

PS – polüstüreen

PTFE - polütetrafluoroetüleen

PUR – polüuretaan

PVA – polüvinüülatsetaat

PVB – polüvinüülbutüraat

PVC – polüvinüülkloriid

UF - karbamiidformaldehüüt

UHMWPE – ülikõrge molekulaarmassiga polüetüleen

SISSEJUHATUS

Hetkel on käimas plastirevolutsioon ja sellega seoses on suurenenud plasti toodang. Paljud plasttooted ei jõua kahjuks eluea lõppedes tagasi ringlusesse ja leiavad end lõpuks vees ulpimas või prügimäel kasutuna seismas. Alates 2020. aasta 1. jaanuarist tuleb taaskasutada olmejäätmeid vähemalt 50% ulatuses nende jäätmete kogumassist. See eeldab aga pidevalt uute ideede välja arendamist, kuidas riigis olevaid jäätmeid saaks taaskasutada. Plastjäätmed moodustavad olmejäätmetest päris suure protsendi, kuid taasringlusesse võetakse neist keskmiselt 16%. Selle protsendi suurendamise võimaluseks on võtta eeskju maailmastaabis leiduvatest tehnoloogiatest ja leida nendele lahendus kasutamiseks Eesti tingimustes.

Lõputöö eesmärgiks on uurida erinevate plastjäätmete taaskasutuse tehnoloogiaid. Töö eesmärgi täitmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- 1) anda ülevaade plastidest;
- 2) uurida plastjäätmete taaskasutamise tehnoloogiaid;
 - uurida plastjäätmete kogumist veekogudest;
 - uurida plastjäätmetest valmistatud tooteid;
 - uurida plastjäätmete kasutamist ehituses;
 - uurida plastjäätemete lagunemist organismide abil;
- 3) analüüsida tehnoloogiate kasutusvõimalust Eestis.

Töö põhineb kvalitatiivsel meetodil, mis seisneb olemasolevate tehnoloogiate uurimisel allikate baasil ning tekstianalüüsil.

1. PLASTID

1.1. Plastide ajalugu

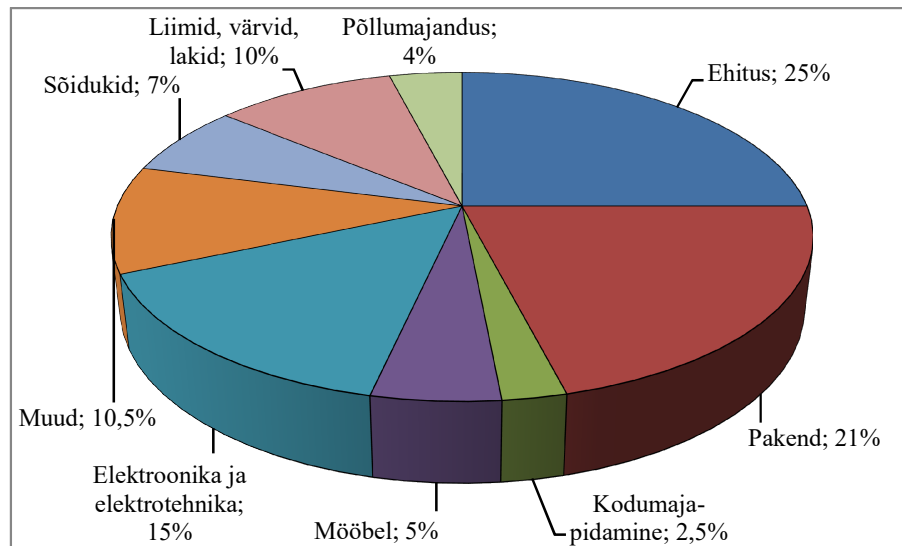
Plastide leiutamine on olnud ühiskonna üheks suurimaks saavutuseks.

Kõrghetked plasti lapsepõlvest:

- 1) 1844 – Charles Goodyear leiutab katšuki vulkaniseerimise, mis muudab selle kulumiskindaks;
- 2) 1862 – Alexander Parkes patenteerib nitrotselluloosist elastse vormitava materjali, mis säilitab oma kuju;
- 3) 1870 – John Wesley Hyatt patenteerib ohutu tselluloidi – elastse tugeva materjali, millest valmistatakse näiteks rullfilme;
- 4) 1907 – Leo Baekeland leiutab esimese täissünteesilise plasti bakeliidi, mida kasutatakse olmeelektronikas;
- 5) 1926 – Waldo Semon avastab meetodi OVC plastifitseerimiseks. Saadud polümeer on väga vastupidav;
- 6) 1935 – Ettevõttes DuPont õnnestub keemikul Wallace Carothersil valmistada nailoni esimene versioon;
- 7) 1948 – Patenteeritakse ABS-plast, mille monomeeriks on akrülonitriil, butadien ja stüreen. ABSi kasutatakse LEGO klotsides, kuid see on nii tugev, et kõlbaks isegi käigukasti detailideks. [1]

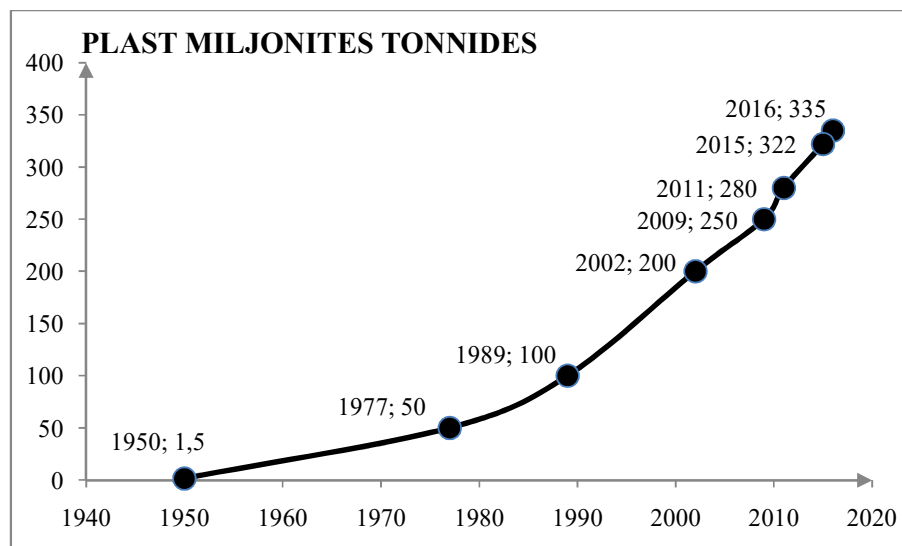
See nimekiri on kõigest alustuseks uue plasti põlvkonnale.

Plastide ajalugu on võrreldes metallidega väga lühike. Vähem kui saja aasta jooksul on plastid vallutanud maailma. Tänapäeval toodetakse näiteks mahuliselt USA-s ja EL-is enam plaste kui terast, alumiiniumi ja vaske kokku. Plastide kasutus valdkonniti on näidatud Joonisel 1. [2]



Joonis 1. Plastide kasutus valdkonniti [2].

Töö jooniselt loeti välja, et kolm kõige suuremat plastide kasutusvaldkonda on: ehitus, pakend ja elektroonika. Tänapäeval on plastide kogutoodang maailmas umbes 335 miljonit tonni aastas, mida on näidatud Joonisel 2.



Joonis 2. Maailma plasti toodang aastas [1].

Plastide toodang on märgatavalt tõusnud 21. sajandi algusega ja tõuseb iga aastaga üha enam.

1.2. Plastide valmistamine

Suurem osa iga päev kasutatavast plastist alustab oma elu toornaftana. Nimelt sisaldab see plasti keemilise koostise põhikomponente – monomeere. [1] Plastide valmistamise etapid on näidatud Tabelis 1.

Tabel 1. Plasti valmistamise etapid [1]

Etapp	Kirjeldus
Toornafta destilleeritakse	Toornafta kuumutamisel temperatuuril kuni 220-230 °C saadakse toorbensiini. See koosneb süsinikvesikute ahelmolekulidest.
Auru toimet katkevad molekulis sidemed	800kraadise veeauru toimet katkevad ahelates keemilised sidemed ja tekivad väikesed molekulid, näiteks etüleen. Neid molekule, niinimetatud monomeere, kasutatakse polümeersete plastide saamiseks
Ehitusklotsid liituvad	Etüleenmolekulid aktiveeritakse ja need seostuvad omavahel pikaks, mitmest tuhandest lülis koosnevaks ahelaks
Lihtne ahel, lihtne plast	Polüetüleen koosneb ainult etüleenlülidest. Kui polümeer koosneb ainult üht tüüpi monomeerist, nimetatakse seda homopolümeeriks
Segu annab mitu omadust	Plasti saab valmistada ka erinevatest monomeeridest, mis annavad materjalile uusi omadusi. Näiteks on legoklots valmistatud kolmest monomeerist: 1) butadieen annab vastupidavuse ja löögikindluse, 2) stüreen annab läike ja tiheduse, 3) akrüloniitril annab suure tõmbetugevuse

Plasti tootmiseks kasutatakse ligikaudu 4-6% kogu Euroopa nafta ja gaasi kogusest, mis on vähe võrreldes teiste valdkondadega [3].

1.3. Plastide liigitus ja omadused

Plastid ei ole lihtsalt üks materjal. Plastid on perekond paljudest erinevatest materjalidest koos nende mitmesuguste omadustega. Plastid jagunevad kahte suurde gruppi: termoplastseiks, mis sulavad kõrgel temperatuuril ja termoreaktiivseteks, mis ei sula kuumutamisel.

Järgnevalt tutvutakse lähemalt erinevate plastide kasutusala-dega.

Termoplastid

Termoplaste saadakse polümeeride alusel, mille molekulid on seotud nõrkade molekulivaheliste jõududega. Selle tõttu võib polümeer kuumutamisel korduvalt pehmeneda ning jahtumisel kõveneda, kaotamata seejuures oma algomadusi. [4]

Termoplastide jagunemist ja nende kasutusalasid on näidatud Tabelis 2.

Tabel 2. Termoplastid [2]

Termoplast	Tähis	Kasutusala
ABS	ABS	elektroonikaseadmete korpustes, autode pörkeraudades
Akrüülpolümeerid	PMMA	autode tuled, kaitseklaasid, optikaseadmete läätsed ja prilliklaasid
Nitraatselluloosid	CA	nugade käepidemed, lauatenise pallid, sigaretilfiltrid ja viltpliiatsi otsikud
Fluoroplastid	PTFE	teflonpindel pannid ja teised köögitarvikud
Polüamiidid	PA	kergete hammasrattad, võllid, laagrid, harjased
Polükarbonaadid	PC	CD- ja DVD-plaadid, läbipaistavad paneelid, valguskuplite, pudelite ja kaitsekiivrite valmistamiseks
Polüestrid	PET	autode istmekatted, turvavööd, koormarihmad ja vatiin
Polüetüleenid	LDPE	toiduainetööstuse, põllumajanduse ja ehituse kiled
	HDPE	veetorustikud ja õhukeseseinalised tooted
	UHMWPE	toiduainetööstuse laagrid, hammasülekanded ja puksid
Polüpropüleen	PP	toiduainetööstuses kasutatavad pakendid, autotööstuse detailid ja majapidamistarbed
Polüstüreen	PS	vahtplastist hoonete ja torustike soojusisolatsioonina
Polüüretaanid	PUR	autotööstuse puksid, muhvid, tööriistade käepidemed
Vinüülid	PVA	puidu- ja paberiliim
	PVB	lamineeritud turvaklaaside kiled
	PVC	kaabliisolatsioonimaterjal, laste mänguasjad, kunstnahk, autode armatuurlauad ja küljepolstrite pindmine kate

Termoplastide kasutusala on esindatud järgmistes valdkondades: elektroonika, sõidukid, kodumajapidamine, pakend, liimid, ehitus ja põllumajandus.

Reaktoplastid

Reaktoplaste saadakse polümeeridest, mille molekulid lisaks molekulivahelistele jõududele on veel keemiliselt seotud [4]. Reaktoplastide kasutusala on näidatud Tabelis 3.

Tabel 3. Reaktoplastid [2]

Reaktoplast	Tähis	Kasutusala
Aminovaigud	MF	adhesioonmaterjalina vineeris, saepuruplaadides, laminaatparkett
	UF	mahutid, karpid ja korpused ning valgustid
Epoksüvaigud	-	pinnete-, adhesiooni- ja komposiitmaterjalid, elektrotehnilised tooted
Fenoolvaigud	PF	vineer, täiteainete/armatuuri immutamine
Polüestervaigud	PE	väikelaevalde kere, tekidetailid, autode kerepaneelid, vannid
Polüimiidid	PI	täppisdetailid ja klapid, ventiilide paigaldusühendused
Polüüretaanvaigud	PUR	vahtmaterjal (polstrid, pesukäsnad, sändvitšmaterjal)
Silikoonvaigud	-	määrdeainena, geelidena, köögitarvikute valmistamiseks

Reaktoplastide ringlusessevõtt ei ole sulatöötuse abil võimalik. Reaktoplaste saab mehaaniliselt jahvatada ning seejärel kasutada täiteainena teiste plastide koostises. [2]

Plastide omadused

Plastide üldise ettekujutuse saamiseks on kasulik tutvuda nende üldiste omadustega. Põhiliste plastide omadustega saab tutvuda Tabelis 4.

Tabel 4. Plastide omadused [2]

Omadus	Kirjeldus
Väike tihedus	enamiku plastide tihedus on vahemikus 0,9-1,1 g/cm ³
Hea korrosioonikindlus	paljud plastid on vastupidavad tugevalt korrosiivses ja keemiliselt agresiivses keskkonnas
Suur elektritakistus	plaste kasutatakse laialdaselt elektriisolatsioonimaterjalina
Väike soojusjuhtivus	halva soojusjuhtivuse tõttu kasutatakse plaste soojusisolatsioonimaterjalidena
Optiliste omaduste lai gamma	lisades plastile värvipigmente on võimalik nende värvust varieerida peaaegu piiramatult.
Tehnoloogilisus ehk tootmisviiside paljusus	sageli on plastist tooteid võimalik valmistada ühe tootmisoperatsiooni käigus
Hea pinnakvaliteet	samaaegselt vormimisoperatsiooniga antakse toote pinnale vajalik pinnaviimistlus
Suhteliselt madal hind	toorme- ja töötlemiskulud on metallidega võrreldes madalamad
Madal energiakulu	võrreldes metallidega kulutatakse tooteühiku kohta vähem energiat

Autori poolt arvati, et tähtsamad omadused on madal hind ja energiakulu, mis mõjutavad kõiki kasutusvaldkondi.

Plastide lisandid

Plastid sisaldavad lisaks polümeersele põhimassile peaaegu alati erinevaid lisandeid [2].

Peamised lisandid on:

- 1) täiteained;
- 2) plastifikaatorid;
- 3) määrdelisandid;
- 4) värvilisandid;
- 5) stabilisaatorid;
- 6) leegiaeglustid;
- 7) teised lisandid (näiteks antistaatikud, biotsiidid).

Igal lisandil on mingi kindel eesmärk muuta plastikut paremaks või modifitseerida selle omadusi. Tabelisse 5. on toodud peamised lisandid koos nende eesmärkidega.

Tabel 5. Lisandid ja nende kasutusotstarve plastides [2]

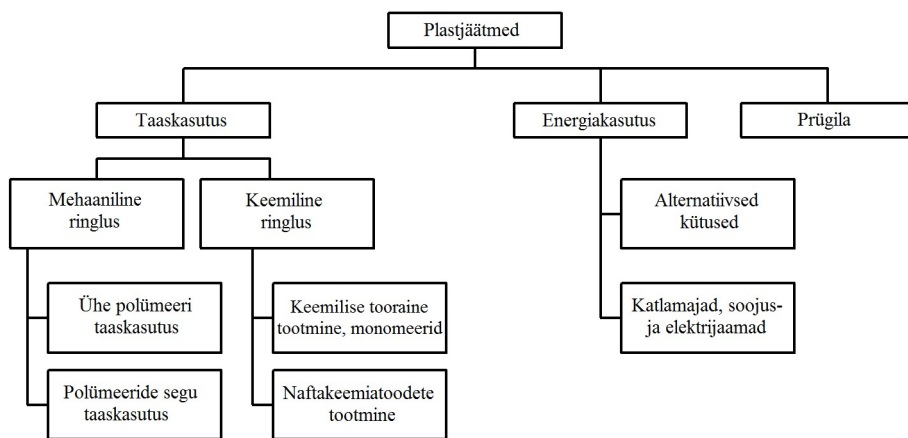
Lisandi tüüp	Eesmärk
Täiteained	parandavad plasti mehaanilisi omadusi, vähendavad kahanemist, alandavad kaalu ja hinda
Plastifikaatorid	parandavad plasti painduvust ja sitkust ning voolavust sulatöötlusel, alandavad elastusmoodulit
Määrdeained	parandavad vormitavust ja teevad võimalikuks toote vormist eemaldamise
Värvlisandid	annavad tootele soovitud tooni
Stabilisaatorid	aeglustavad plasti lagunemist kuumuse või valguskiirguse toimel
Antioksidandid	aeglustavad plasti lagunemist oksüdeerumise mõjul
Leegiaeglustid	vähendavad süttivust
Juhtivustparandavad	suurendavad plasti elektrijuhtivust
Antistaatilised	

Üheks näiteks on Eesti plastikprofiilide tootja Ati Profiil, kellel on plaan toota plasti toorainet, milles on põlevkivi lendtuha sisaldus üle 80 protsendi. Põlevkivituhka, eriti lendtuhka, saab kasutada plastmaterjalis lisa- ja täitematerjalina. See on oma omadustelt väga stabiilne ja hüdrofoobne. See tähendab, et tootmisel käitub materjal ühtlaselt ja seda ei pea eelnevalt kuivatama, mis hoiab energiat kokku. Samuti suurendab see polümeerides temperatuuristabiilsust. [5]

1.4. Plastide taaskasutus

Plastiku kasutusaja lõppedes saab seda parandada või uuesti kasutada, kuid lõppkokkuvõttes on nad ikkagi jäätmed, mis on tegelikult uueks ressursiks ja tuleks paigutada uude plasti elutsükklisse.

Joonisel 3. on skeem erinevatest võimalustest plasti taaskasutada.










Joonis 3. Plastide ringlus ja taaskasutus [2].

Kui termoplastid ja reaktoplastid on segunenud või nende eraldamine osutub väga keerukaks, on otstarbekam kasutada plastjätmeid energiaallikana. Üks võimalik viis plasti ringluseks on keemilise toorme tootmine. Polümeerahelate lagundamiseks kasutatakse hüdrolyüsi (töötlemine veeauruga kõrgel rõhul) või pürolüüsi (kuumutamine ilma hapniku juuresolekuta). [2]

Plasti liike on omavahel võimatu vaadeldes eristada. Taaskasutatavate plastide jaoks on kasutusele võetud rahvusvaheline tähiste süsteem. Plastide sorteerimisel vastavalt sellele süsteemile on võimalik termoplaste edukalt taaskasutada uute toodete valmistamiseks. Tabelis 6. on esitatud pakendiplastide ühtne tähistussüsteem.

Tabel 6. Pakendiplastide tähistus ja vastav plasti taaskasutuse näited [2]

Sümbol [6]	Lühend	Polümeer	Tüüpiline plasti taaskasutuse näide
	PETE või PET	Polüetüleen-tereftalaat	Polüesterkiud, termovormid leht ja kile, joogipakend, pakendinõör
	HDPE	Ülitihe polüetüleen	Pudelid, kilekotid, piimapakid, prügikastid, mänguväljakute inventar, puitplast, torustik
	PVC	Polüvinüülkloriid	Torustiku osad, piirdeaiaid, pudelid
	LDPE	Väikese tihedusega polüetüleen	Kilekotid, erinevad mahutid, olmekemikaalid ja pesuvahendite taara, torustiku osad
	PP	Polüpropüleen	Paksuseinalised lillepotid, ämbriid, torud, plastprofiilid, võrekastid, alused, toidu- ja külmutusnõud, silokile rulli südamikud, autodetailid
	PS	Polüstüreen	Erinevad lauatarvikud, kandikud, vahtplasti koostisosana
	Muu	Muud plastid, sh akrüül, akrüülnitriilbutadieenstüreen, klaaskiudkomposiit, polüamiid, polükarbonaat jne	Mahutid, konteinerid, puitplast

Tänapäeval püütakse valmistada looduses lagunevaid plaste. Üheks näiteks on biolagunevad plastid, mis on valmistatud selliselt, et nad laguneksid aeroobse või anaeroobse laguprotsessi tulemusena oluliselt kiiremini võrreldes tavaplastidega. Looduslike plastide toormeks on mitmesugused valkained või muundatud kujul tärklised (näiteid vaata Tabelist 7.). Loodusliku päritoluga plast on kasutuses näiteks ühekordsete toidupakendite materjalina. Bioplast imab välikeskkonnast kiiresti niiskust. Niiskuse toimel plast puruneb väikesteks tükkideks, mille mikroorganismid on võimelised lagundama lühikese aja jooksul. [2]

Tabel 7. Tuntumad bioloogilised plastid [7]

Plast	Tooraine	Lagunemine
PLA	Mais või suhkruroog	Komposteerub täielikult
PHA	Bakterite poolt toodetud	Täielikult biolagunev
PSM	Tärklise ja PP segu	Kuumakindel
Tsellofaan	Puidust, puuvillast või kanepikiust	Komposteerub
Biopolüetüleen	Tärklise või suhkru fermenteerimisel	Ei biolagune, aga ümbertöödeldav
Polüamiid ehk nailon	Looduslikest õldest	Ei komposteeru

Oluline on mõista biolagunemise ja komposteerumise erinevusi. Tehniliselt on kõik plastid biolagunevad ehk võimelised mikroobide kaasabil soodsates tingimustes degradeeruma. Tavalise kilekoti puhul võtab selline protsess aega lihtsalt tuhatkond aastat. Komposteeritavaks saab lugeda sellist bioloogilist plasti, millest kuni 6 kuu jooksul vähemalt 90% kogusest muundub metaboolset süsinikdioksiidiks ja veeks. Lisaks ei tohi pärast 3 kuu möödumist üle 10% materjali algkogusest olla üle 2 millimeetri. [7]

2. PLASTI TAASKASUTAMISE TEHNOLOOGIAD

2.1. Plastjäätmete puhastamine merest

Alates 2011. aastast on algatatud 260 projekti, et lahendada meres leiduva plasti probleemi. 34 riiki ja 65 organisatsiooni on võtnud kohustuse teha jõupingutusi, mis vähendaksid plastjäätmete hulka maailmas. [1]

Järgnevalt tutvutakse lähemalt uuemate tehnoloogiatega veekogudest plastjäätmete kogumiseks.

2.1.1. Mullivanni efekt

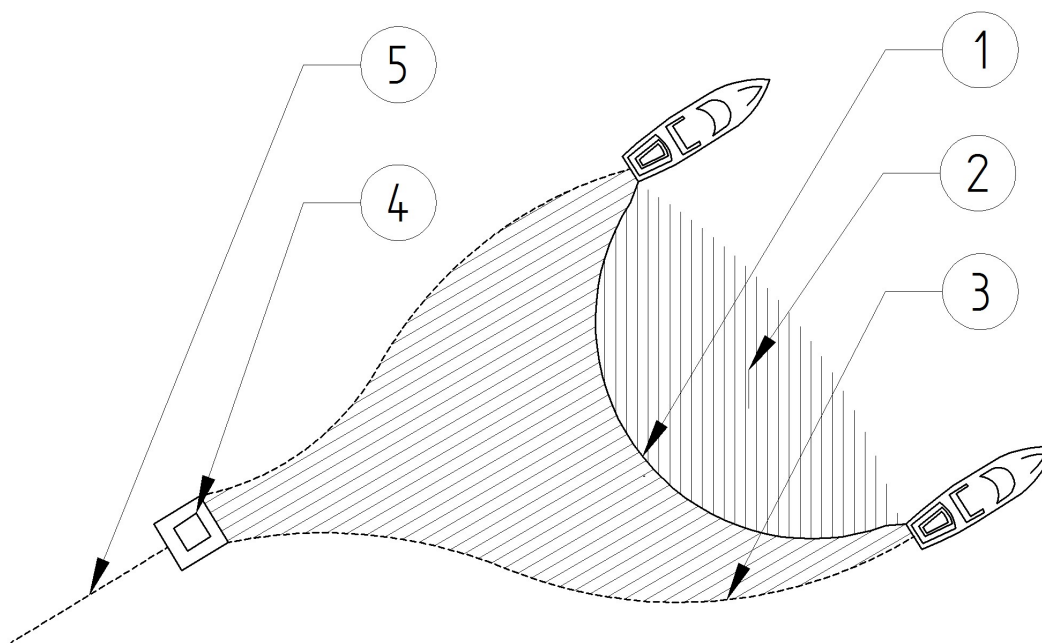
Hollandi projekt The Ocean Cleanup kogub 1-2 kilomeetri pikkuste ujupoomidega kokku kuni poole Vaikses ookeanis olevast plastist. Ujupoomid pannakse keeristesse, mida tekitavad suured merehoovused, mis ajavadki prügi suurteks saarteks kokku. Poomide all on vertikaalne sirm, mis hoolitseb selle eest, et umbes ühesentimeertise kuni mitmemeetrise läbimõõduga tükid kinni püütakse. Kuigi projekt Ocean Cleanup ei püüa mikroplasti, nabitakse selle meetodiga kinni suuremad elemendid enne seda, kui neist saab mikroplast.

Plastjäätmekogumise tehnoloogia:

1. Ujupoomid koguvad plastjäätmekogumise tehnoloogia. Võimsate õhukompressoritega laev sõidab külje kõrval abilaevaga. Kaks laeva hoivad enda vahel pingul õhuvoolikut. Enda järel veavad need laevad ujupoomi, mis juhib plasti kõige taga asuvasse jätmeseadmesse.
2. Mikromullid tõstavad prügi. Kompressorid pressivad suruõhu õhuvoolikusse, mis paikneb 40-50 meetri sügavusel vee all. Voolikus on väikesed augud ja kui õhk neist välja pääseb, tekivad mikromullide pilv, mis tõstab jätmed veepinnale.
3. Prügi kühveldatakse merest välja. Sedamööda, kuidas laevad oma teekonda jätkavad, juhitakse jätmed jätmeseadmesse. Seal juhitakse need lüüsi, kus laboratas tõstab need veest välja ning saadab edasi jätme pressi. See pressib kogu prügi kokku.

4. Jäätmed pressitakse vorstideks. Nagu vorstiliha, pressitakse kokkusurutud jäätmed väga vastupidavatesse kottidesse, mis lastakse veepinnale hulpima. Iga kott varustatakse GPS-kiibi ja niinimetatud AIS saatjaga, et kogumislaev saaks need hiljem üles korjata. [1]

Plastjäätmete kogumise tehnoloogiaskeem on näidatud Joonisel 4.



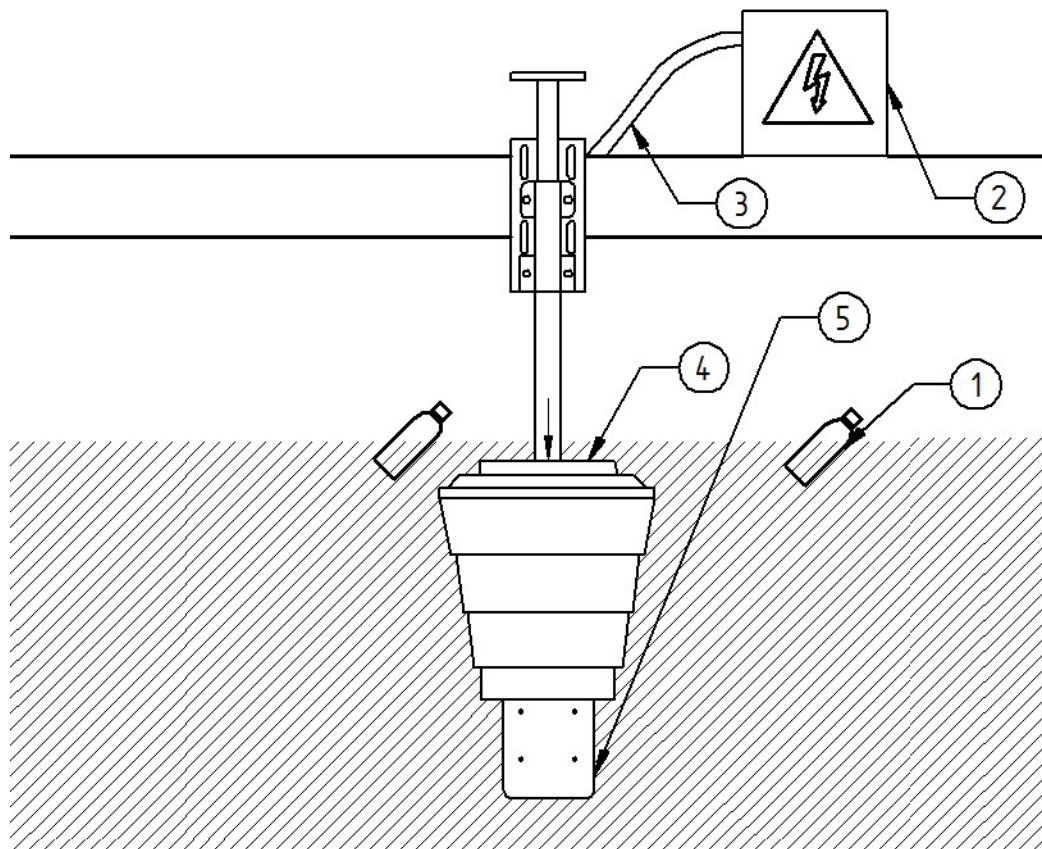
Joonis 4. Plastjäätmete kogumise tehnoloogiaskeem: 1 – õhuvoolik; 2 – mikromullid; 3 – ujupoom; 4 – jäätmesead; 5 – jäätmekotid.

Mullivanni efektiga on võimalik puhastada päevas ligikaudu 200 ruutkilomeetri suurune ala [1].

2.1.2. Mereprügikast

Rannikulähedase veekogust plastjäätmete kogumise lahenduse näide on Seabin. See on teatud laadi mereprügikast, mis pannakse sadamates ja mujal ranniku lähedal veepinnale. Seabin on varustatud pumbaga, mis imeb vee – ja ühes sellega ka plastjäätmed – kiudkotti. Vesi pääseb kiududest läbi, prügi koguneb aga kotti. Iga Seabin kogub päevas kuni 1,5 kilogrammi plasti. [1]

Mereprügikasti tehnoloogiaskeem on näidatud Joonisel 5.

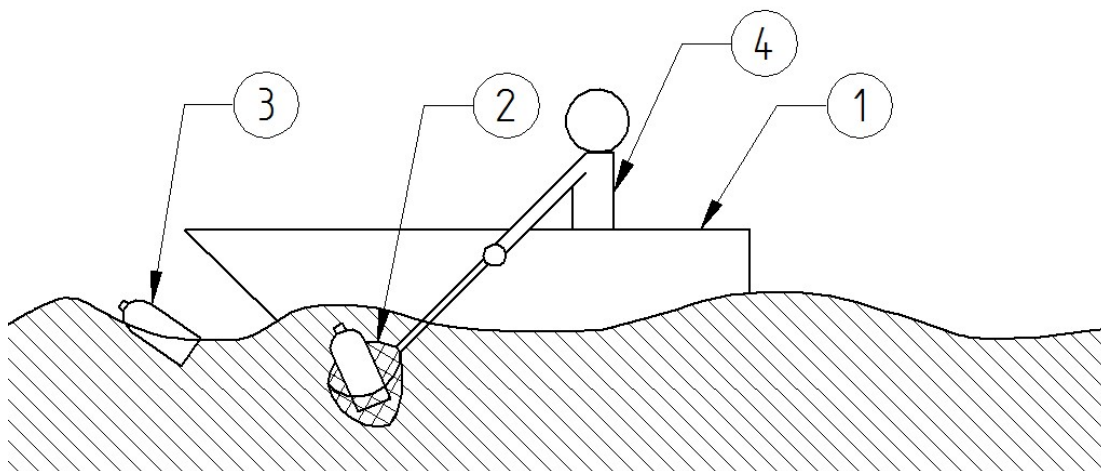


Joonis 5. Mereprügikasti tehnoloogiaskeem: 1 – merejäätmeh; 2 – toide; 3 – kaabel; 4 – mereprügikasti kere; 5 – pump.

Seadme paigaldamiseks rannikule on vajalik lähedal asuvat pistikupesa, kuhu saab tuua elektrikaabli. Toite saamisel hakkab pump tööle ja prügi tõmmatakse seadme sees olevasse prügikotti. Kotid on vahetatavad ja soovituslik on nende täitumist kontrollida igapäevaselt.

2.1.3. Plastikalaustus

Hollandi firma Plastic Whale [8] on ettevõtte, mis tegeleb plastikalaustusega. Igal aastal minnakse Amsterdami kanalitele paatidega sõitma ja püütakse kahvadega välja sealt tonnides plasti nagu näidatud Joonisel 6. See plast sorteeritakse ja purustatakse ning sellest valmistatakse vahtplaadid, millest tehakse uued paadid plastikalaustuseks. Plastikalaustust on võimalik korraldada ka ettevõtte suvepäevadena. Lisaks on ettevõtte hakanud tegelema kontorimööbli tootmisega, sest plastikogus on üsna suur, mis kanalist välja püütakse. Kontorimööbli müügist ja ettevõtete üritustest saadud tulu investeeritakse omakorda plastireostuse vastu võitlemiseks.

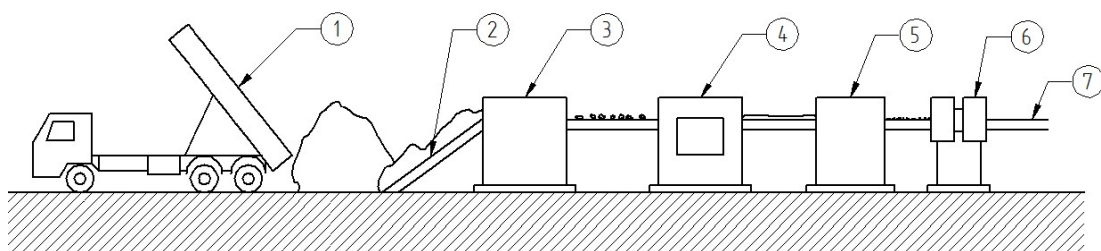


Joonis 6. Plastikalistuse tehnoloogiaskeem: 1 – plastjäätmest valmistatud paat; 2 – kahvadega jäätmte välja püüdmine; 3 – jäätmte veekogus; 4 – plastikalistaja.

Ühe paadi valmistamiseks läheb vaja ligikaudu 10500 plastpudelit [8].

2.2. Plastprügist valmistatud tooted

Töös leiti, et peale veest plastjäätmte maale toimetamist on oluline, et need ei satuks uuesti jäätmekäitlusesse. Selleks on paljud suurfirmad hakanud tootma võimalikult suures ulatuses taaskasutatud materjalidest tooteid, mida saab toote eluea lõppedes uuesti taaskasutada. Uurimustöö koostaja poolt valmistatud põhiline tehnoloogiaskeem, mida saab kasutada enamus plastjäätmtest toodete valmistamiseks on näidatud Joonisel 7.



Joonis 7. Plastjäätmtest uute toodete valmistamise tehnoloogiaskeem: 1 – jäätmte kogumine; 2 – sorteerimine; 3 – purustamine/tükeldamine; 4 – pesemine/kuivatamine; 5 – granuleerimine; 6 – vormimine; 7 – lõpptoodang.

Järgnevalt kirjeldatud tooted on põhiliselt selle skeemi järgi toodetud.

2.2.1. Plastist jalatsid

Saksa spordirõivaste tootja Adidas [9] koostöös Parley organisatsiooniga puhastavad ookeanit plastireostusest ja muudavad prügi jalatsiteks. Kogutud plastjäätmekud töödeldakse ümber polümeerkiuks, mida kasutatakse jalanõude riideosa kudumiseks. Jalatsitele on lisatud 3D-printeriga loodud vahetald, mis on tehtud ümbertöödeldud polüestrist ja kalavõrkudest. Lisaks on ettevõtte hakanud tootma ümbertöödeldud plastist tehtud niidiga joogariideid. Jalanõu näide on toodud Joonisel 8.



Joonis 8. Illustreeriv pilt plastjäätmekudest toodetud Adidas jooksujalatsist [9].

Ühe paari jalatsite tegemiseks kulub ligikaudu 11 plastpudelit [9].

2.2.2. Polüester niit

SEAQUAL™ [10] on kaubamärk, mille toodanguks on ümbertöödeldud plastist tehtud niit. Koostöös Vahemere kaluritega kogutakse nende kalavõrkudesse kinni jäänud prügi merest välja. Igapäevaselt on jäätmekogus ligikaudu tonn. Kokku korjatud prügi sorteeritakse ja iga kategooria liigub edasi oma kanaleid mööda taaskasutusse. PET kategooriaga tähistatud jäätmekud jõuavad SEAQUALi, kus nad purustatakse helvesteks. Plasthelvestest tehakse polümeer – lõppprodukt polüester niit. Jäätmekudest valmistatud polüesterkiu tootmisega tekib 75% vähem süsihappegaasi heitmeid kui uue polüestri tootmiseks naftast, tänu millele väheneb süsiniku jalajälg. Lisaks kulub 20% vähem vett ja

50% vähem energiat. Niiti hiljem kasutatakse kanga valmistamiseks, mida koostööpartnerid kasutavad riideesemete valmistamiseks. Ümbertöödeldud plastist valmistatud riideesemed on palju kergemad, mistõttu on nad inimestele rohkem meelt mööda. Hetkel suurimad parterid on GANT ja ECOALF. GANTi põhitoodanguks on särgid ja ECOALF toodab paljusid erinevaid riidest tooteid. Ühe meetri kanga tootmiseks kulub ligikaudu seitsekümmend PET pudelit.

2.2.3. Rula

Bureo [11] on ettevõtte, mille tegevusalaks on kalavõrkude muutmine rulaks. Ameerika sadamalinnade kohalikud ja kalurid koguvad randa uhtunud või ookenis ulpinud kalavõrgud kokku. Need seejärel pestakse ja puhastatakse kohapeal. Kui piisav kogus on sellest piirkonnast kokku korjatud, transporditakse need veoautodega San Diego tehasesse. Ümbertöötamise protsess algab võrkude tükeldamisega väiksemateks kiududeks, millele järgneb sulatamine ja granuleerimine. Ekstrusiooni meetodi abil vormitakse graanulitest rulad, mis näevad välja kalakujulised, nagu näidatud Joonisel 9.



Joonis 9. Illustreeriv pilt plastjäätmest toodetud rulast [11].

Ühe rula valmistamiseks kulub 2 ruutmeetrit võrku [11].

2.2.4. Prilliraamid

Sea2see [12] ja Itaalia prillide tootja üheskoos disainisid ja valmistasid Vahemere plastjäätmest valmistatud prilliraamid. Merejäätmel korjavad kokku Hispaania kalurid, kelle päevane saak on ligikaudu tonn. Jäätmel liiguvad edasi sorteerimisse, kus need jagatakse laiali erinevate liikide järgi. Peale sorteerimise materjal pestakse, tükeldatakse ja

sulatatakse graanuliteks. See tooraine transporditakse Itaaliasse, kus tehases toodetakse 23 grammi kaaluvad Flex tehnoloogiaga valmistatud prilliraamid nagu näidatud Joonisel 10. Prilliraamid on kasutuses nii optiliste prillidena kui ka päikeseprillidena.

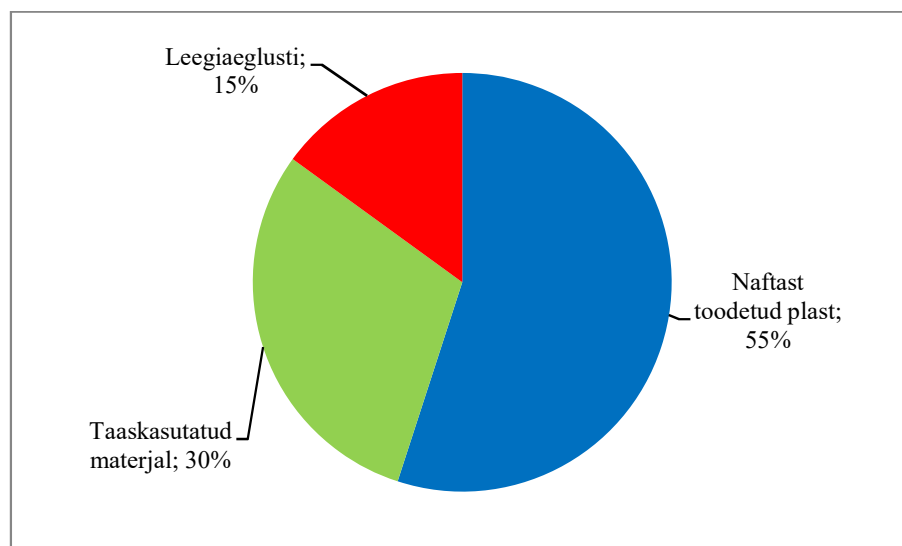


Joonis 10. Illustreeriv pilt plastjäätmest tehtud prilliraamidest [12].

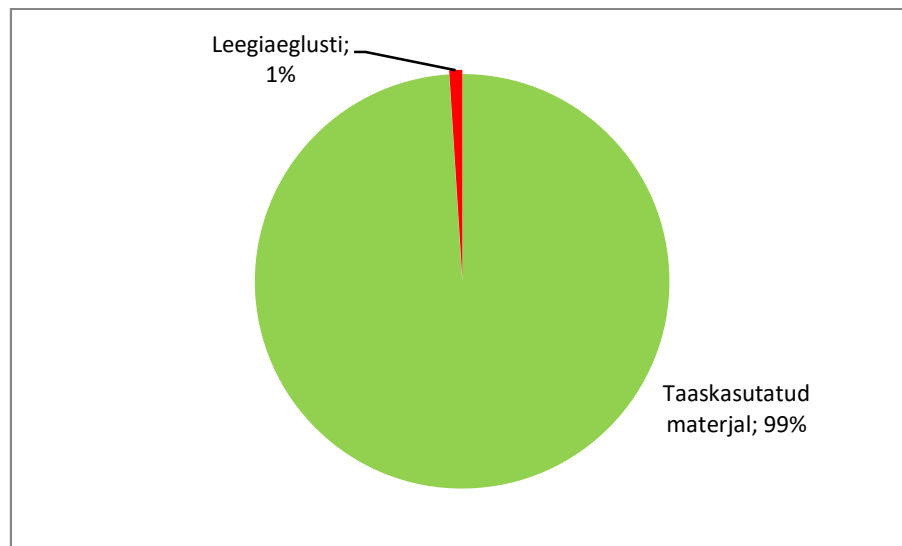
Uurimustöös leiti, et plastjäätmest valmistatud prille ei suudaks eristada tavalistest.

2.3. SORPLAS™

SORPLAS [13] on Sony loodud uus ümbertöödeldud plast. Selle plasti teeb eriliseks spetsiaalne väävlipõhine leegiaeglustav koostisosa, tänu millele saab elektroonika seadmeid valmistada 99% taaskasutatud plastist. Koostisosade võrdluseks on toodud Joonis 11 ja Joonis 12.

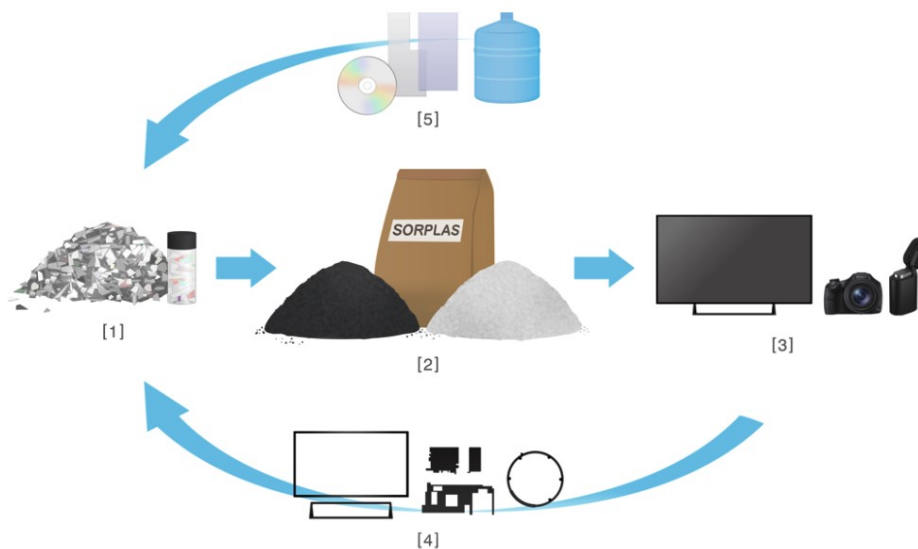


Joonis 11. Varasemate Sony seadmete koostisosad.



Joonis 12. SORPLAS tehnoloogiaga seadmete koostisosad.

Plastjäätmelena on kasutuses DVD plaadid, optilised kettad, filmilindid, plastpudelid kui ka eluea lõppedes vanad Sony seadmed. SORPLAS tehnoloogiaga valmistatud seadmeid on võimalik mitmeid kordi ümber töödelda ja uueks tooteks vormida. SORPLASi ringlusessevõtt on näidatud Joonisel 13. Seda tehnoloogiat kasutatakse telerite ja kaamerate valmistamiseks, tänu millele on nad kerged, tugevad, õlikindlad ja tulekindlad.



Joonis 13. SORPLASi ringlussevõtt: 1 – purustamine ja granuleerimine, 2 – vormimine, 3 – tootmine, 4 – demoteerimine, 5 – jäätmete kogumine [13].

SORPLASiga valmistatud seadmete puhul tekib 78% vähem süsihappegaasi kui uuest plastist valmistatud Sony seadmete puhul tekkis [13]. Töö autori arvutuste kohaselt saab selle tehnoloogiaga kasutada 69% rohkem jäätmeid kui varem. Näiteks Sony fotokaamera HX400V, mis kaalub 660 grammi on valmistatud selle tehnoloogiaga [13]. Töö koostaja arvutused näitavad, et sellest kaamerast on valmistatud 653,4 grammi taaskasutatud materjalist.

2.4. Plastjätmed teehituses

Plastjätmete reostusega tegeletakse maailma igas nurgas, kus üritatakse leida lahendusi jätmete kasutuseks. Kahte erinevat maantee ehitustehnoloogiat lahendust pakuvad Euroopa ja India teedehitajad.

2.4.1. India teedehitus

2014. aastal põhjustasid Indias teeaugud 3000 surma [14]. Samuti paljudes seal toimunud liiklusõnnetustes on süüdi halvad teeolud. Nende vältimiseks on India valitus välja töötanud plasti taaskasutuse programmi, kus inimesed korjavad plastjätmeid. Plast sorteeritakse, puhastatakse, kuivatatakse, purustatakse ja müüakse edasi teedehitajatele. Helvestatud plast segatakse ja sulatatakse kuumusel 170°C [14]. Sellele lisatakse kuum bituumen ja need segatakse kokku. Edasine teehitus näeb välja nagu tavalise asfaldi laotamine ühtse massina teepinnale. Teed muutuvad plasti lisades palju vastupidavamaks ilmastikule – nii üleujutustele kui kuumusele. Igale kilomeeterile kulub üks tonn plastjätmeid, tänu millele muutub tee eluiga vähemalt kaks korda pikemaks [14].

2.4.2. Euroopa teedehitus

PlasticRoad [15] on Euroopa lähenemine teedehitusse, kus monteeritav, modulaarne ja õõnes teestruktuur on valmistatud täielikult ümbertöödeldud plastist. Tehnoloogia koosneb plastjätmete kokku surumisest lehtedeks. Toodetud plastelemendid on omavahel kokku ühendatavad, mis muudab nende paigaldamise ja hoolduse palju kiiremaks, lihtsamaks ja tõhusamaks võrreldes traditsiooniliste teekonstruktsioonidega. Elementide paigalduseks pole vaja enam rasketehnika kohalevedu, vaid piisab ühest veoautost nagu on näidatud

Joonisel 14, millega muutub ehitamine 70% kiiremaks. Iga leht on taaskasutatav ja vahetatav. Elemendi sees on õõnes ruum, mida saab kasutada sademete ajal vee äravooluks ja samuti kaablite ja torude läbiveoks. Konstruktsioon on neli korda kergem traditsioonilisest teestruktuurist, mille abil väheneb maapinna kalduvus langeda tee alt.



Joonis 14. Plastikelementide paigaldus [15].

Üks veoauto on varustatud kogu tehnikaga, mis on vajalik plastelementidest tee ehitamiseks. Spetsiaalse kraanaga tõstetakse plaadid paika ja vahetatakse ka vajadusel välja. Tee kestab ligikaudu kolm korda kauem kui tavaline asfaldist tee [15].

2.5. Plastjäätmehituses

Tänapäeval on võimalik maja ehitada praktiliselt 100% taaskasutatud materjalidest. Plastjäätmehituses muudab maja ehituse odavamaks ja samuti selle tugevamaks. Kolm erinevat uutset taaskasutatud ehitusmaterjali on: Columbia ettevõtte toodetud plastjäätmehituse tellised, Massachusettsi Tehnikainstituudi poolt välja töötatud tugevam betoon ja Eesti oma ettevõtte PlastRexi poolt toodetud profiillaud.

2.5.1. Tellised

Conceptos Plasticos [16] on väikeettevõte, mis tegeleb kodututele ümbertöödeldud plastist majade ehitamisega. Nad on välja töötanud tellise, mis koosneb erinevat liiki plastpakenditest. Jäätmete kogumisega tegelevatelt firmadelt saadakse materjal, mis purustatakse ja sulatatakse. Toorainesse lisatakse täiteained, mis muudavad ehitusmaterjali kuumakindlaks. Lõpuks vormitakse tellised. Ehitamine on lihtne, sest tellised istuvad omavahel kokku ja pole vaja kasutada abimaterjale või seadmeid. Ühe 40 ruutmeetrise maja ehitamiseks kulub kuus tonni plastjätmeid.

2.5.2. Massachusettsi Tehnikainstituut

Massachusettsi Tehnikainstituudis [17] avastati meetod kuidas muuta betooni tugevamaks. Uuringus selgus, et kui plasthelbeid paljastada väiksele gammakiirguse kogusele, aitab see muuta materjali kristallstruktuuri. Need helbed muudetakse seejärel pulbriks ning segatakse kokku betoonisegu ja lendtuhaga. Lõpptulemuseks on see, et betoon muutub 15% võrra tugevamaks. Kiiritatud plastjätmed moodustavad 1,5% segu kogusest. See on märkimisväärne kogus, tänu millele kulub tunduvalt vähem betooni.

2.5.3. PlastRex

PlastRex [18] on Eesti ettevõtte, mis suudab taaskasutada määrdunud segaolmeplastikpakendeid. Taaskasutamise tehnoloogia algab plastjätmed sorteerimisega, mille käigus eemaldatakse metall, liiv, tolm ja niiskus. Sellele järgneb plasti purustamine helvesteks. Plasthelbed liiguvad edasi tihendusmasinasse, kus nad termotöödeldakse ja tihendatakse. Teekond lõpeb ekstruuderis, kus vormitakse kiirelt erinevaid profiile.

Üks tonn PlastRexi aitab kokku hoida:

- 1) 1,66 tonni CO²-de;
- 2) 262 liitrit naftat;
- 3) 98 miljonit kJ energiat;
- 4) 23 m³ prügila pinda [18].

Ettevõtte aastane tootmiskaht on 2400 tonni, kuid eesmärgiks on suurendada tootmiskaht 10000 tonnini. PlastRexi profiillaudadest saab ehitada terassilaudu, müratõkkeseinu,

punnlaudu ja erinevaid aiatooteid. Tegemist on toodetega, mis on tehtud 100% taaskasutatud plastist ja on uuesti taaskasutatav. [18]

2.6. Plastide lagunemise tehnoloogiad

Teadlased otsivad lahendusi, kuidas organismide abil lagundada plastjätmeid esialgseteks polümeeride ühenditeks – vesinikuks, hapnikuks, süsinikuks ja lämmastikuks.

2.6.1. Tehisensüüm

Jaapanis avastati looduslik ensüüm *Ideonella sakainesis* [19], mis suudab lagundada PET kilet kuue nädalaga. Selleks on bakteril kaks ensüümi: esimene ensüüm, mida eritatakse plasti pinnale, et bakter suudaks seda endasse imeda ja teine ensüüm, mis langundab bakteri sees plasti lihtsateks süsinikuühenditeks. Nüüd on USA ja Briti teadlased uurimise enda kätte võtnud ja selle loodusliku ensüümi järgi moodustanud tehisensüümi. Kopeerides bakterit, muutsid nad mõnda aminohapet ja avastasid, et tänu sellele muutus langunemisprotsess kiiremaks. Teadlased loodavad, et see ensüüm aitab tulevikus plastireostuse vastu võidelda.

2.6.2. Vahaleediku röövik

Väike vahaleediku röövik võib süüa ühte levinumat ja kõige raskemini lagunevat plastitüüpi, polüetüleeni. Seda plasti kasutatakse eriti kilekottides. Teadlased avastasid, et röövikud ainult ei söö seda plasti, vaid ka seedivad ära. Uuringute käigus selgus, et ligikaudu 100 röövikut suudavad 12 tunniga lagundada 92 milligrammi plasti. Edasi hakkavad teadlased uurima, kuidas nad seda teevad. [1]

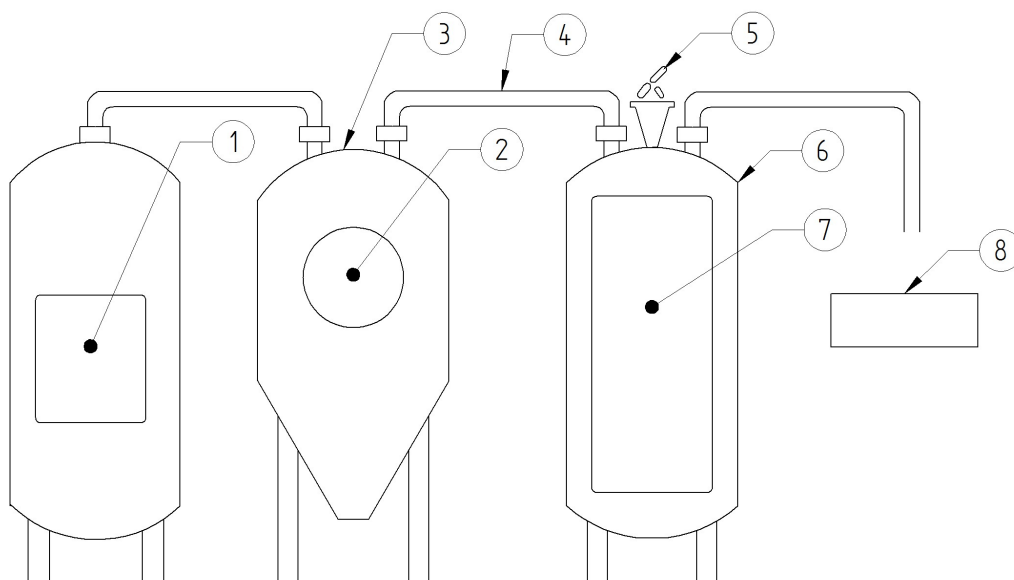
2.6.3. Prügist plastiks

ELi toetatud teadusprojekt SYNPOL suudab bakterite ja mikrolainete abiga muuta jätmed biopolümeerideks polühüdrosüalkanoaatideks. Seda plastitüüpi saab kasutada pakendite tegemiseks, aga kuna see laguneb looduslikult, on sel suur potentsiaal ka meditsiinivahendite materjalina, näiteks kirurgilises niidis.

Prügiks plastiks:

1. Mikrolained teevad eeltöö. Prügi töödeldakse mikrolainetega. See alandab temperatuuri, mida hiljem on vaja prügi gaasistamiseks, säästes nii energiat.
2. Prügist tehakse sünteesgaasi. Ümbertöödeldud prügi saadetakse gaasistajasse, kus seda kuumutatakse. Reaktsioonis hapniku või veeauruga moodustub sünteesgaas.
3. Bakteritüved seedivad gaasi. Sünteesgaas juhitakse bioreaktorisse, kuhu lisatakse ka erinevad bakteritüved. Need fermenteerivad gaasi ning tekivad väikesed plastitükid.
4. Bioplasti võib kasutada õhtusöögilauas. Tulemuseks on plast polühüdrosüalcanoat, mis on looduslik polüester. Seda saab kasutada ühekordsete söögiriistade ja pakendite valmistamiseks. [1]

Töö autori poolt valmistatud tehnoloogiaskeem on näidatud Joonisel 15.



Joonis 15. Uue plasti valmistamise tehnoloogiaskeem: 1 – prügi; 2 – põleti; 3 – gaasistaja; 4 – sünteesgaas; 5 – bakteritüved; 6 – reaktor; 7 – fermenteerimine; 8 – valmis toode.

3. ARUTELU JA TULEMUSED

3.1. Plastjätmete kogused Eestis

Eesti juhtimisel lepiti Euroopa Liidus kokku uus jäätmekäitlusedirektiiv, mis sätestab olmejäätmete ringlusessevõtu taset 55%-ni 2025. aastaks. Edaspidi suureneb see sihtarv 5% võrra iga viie aasta kaupa. Hetkel on selleks sihtarvuks 2020. aastani 50%. [20] Tabelis 8 on näha jäätmete kogused ja taaskasutusmäärad Eestis.

Tabel 8. Jäätmete kogused Eestis [21]

Jäätmete näitajad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Jäätmete ladestamine prügilasse, tuhat tonni	11662	9299	8163	10700	13609	12221	12858
Jäätmete põletamine energia tootmiseks, tuhat tonni	265	295	349	522	509	543	499
Jäätmete põletamine energia tootmiseta, tonni	21	0	56	59	20	19	59
Jäätmete taaskasutus, tuhat tonni	7139	11965	13147	11693	8059	9390	7834
Jäätmete taaskasutusmäär, %	37	55	59	52	36	38	32
Jäätmete teke, tuhat tonni	19500	21661	22209	22484	22104	24721	24441
Olmejäätmete tekkimine, tuhat tonni	406	399	371	386	470	473	494

Tabelist 9. nähakse palju nendest jäätmetest olid plastjätmed.

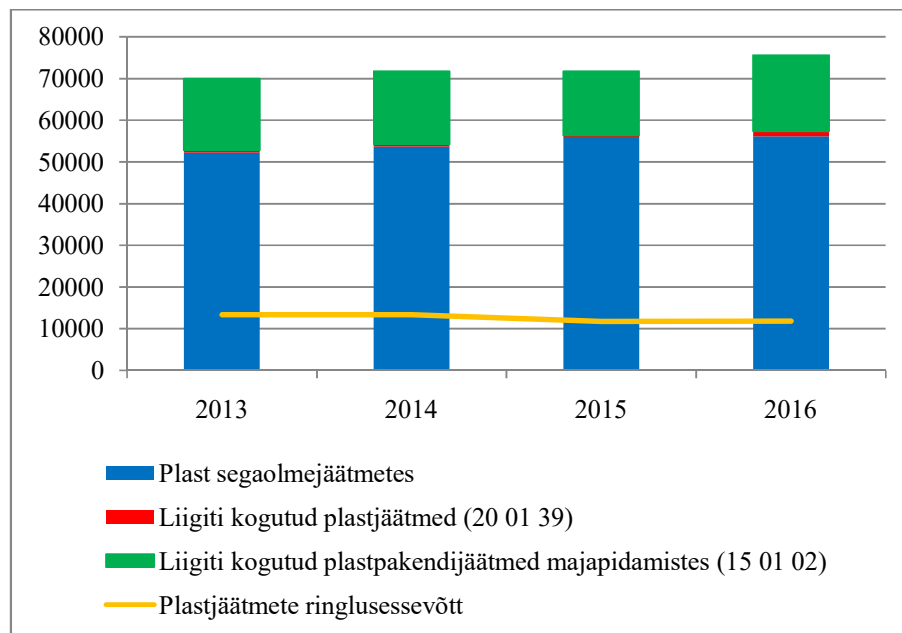
Tabel 9. Plastjätmete teke Eestis [22]

Plastide jäätmeliigid	2013	2014	2015	2016
Liigiti kogutud plastjätmed (20 01 39), tonni	570	568	597	1204
Plast segaolmejäätmetes, tonni	52235	53680	55773	56110
Liigiti kogutud plastpakendijätmed majapidamistes (15 01 02), tonni	17188	17490	15348	18267
Tekkis kokku, tonni	69994	71738	71717	75581
Plastjätmete ringlusessevõtt, tonni	13286	13298	11701	11752
Ringlusessevõtu määr, %	19	19	16	16

Märkused:

1. Tähis „20 01 39” tähendab jäätmeliikide nimistu koodi, mis tähistab plaste.
2. Tähis „15 01 02” tähendab jäätmeliikide nimistu koodi, mis tähistab plastpakendeid.

Tabelist 8. loeti välja, et 2016. aastal oli jäätmete taaskasutusmääraks 32%. Taaskasutamata jäi 16607 tuhat tonni jäätmeid. Tabelist 9. loeti töö koostaja poolt välja, et plastprügist jõudis 2016. aastal taaskasutusse ainult 16% tekkinud jäätmetest, mis tähendab, et 63829 tonni plastjäätmeid jäi taaskasutamata. Tabeli 9. põhjal on tehtud Joonis 16.



Joonis 16. Plastjäätmete teke ja ringlusessevõtt.

Uurimustöö Joonisest 16. loeti välja, et plastprügi kogus on kõige suurem segaolmejäätmetes, kus joonise kohaselt on peidus üle 50000 tonni plasti. Liigiti kogutakse plastpakendeid ligikaudu kolm korda vähem kui see moodustab segaolmejäätmetest. Kahjuks ei ole paljude erinevate tehnoloogiatega võimalik kasutusse võtta segaolmejäätmeid, mistõttu seal leiduv plast läheb enamasti energiaallikaks või prügilasse.

3.2. Jäätmete kogumine

Eelnevas peatükis on kirjeldatud erinevate jäätmete kogumisviise veekogudest. Eestit piirab nii läänest kui põhjast Läänemeri, kus pole prügiga seotud probleeme piisavalt uuritud, kuid tasuks ennetavalt mõelda selle puhastamise peale. Läänemere pindala on 377000 ruutkilomeetrit [23]. Eesti mereala pindala on kokku ligikaudu 36500 ruutkilomeetrit [23]. Plast enamasti jõuab sinna mööda kanalisatsioone, heitveetorusid või




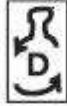


otse visatud prügina. Selle välja korjamiseks oleks võimalik rakendada jäätmeseadme tehnoloogiat, mida on kirjeldatud mullivanni efektina, kus laevad veavad enda järel ujuproomide lõpus seadet, kuhu kõik plast suunatakse ja kus see kokku pressitakse. Autor andmeid töödeldes leidis, et selle tehnoloogiaga on võimalik puhastada päevas 200 ruutkilomeetri suurune ala, siis Eesti mere puhastamiseks kuluks ligikaudu 182,5 päeva ja terve Läänemere puhastamiseks 1885 päeva, mis on omakorda veidi üle 5 aasta.

Teise tehnoloogiana on kirjeldatud mereprügikasti, mis on juba Läänemeres kasutuses Soome poolt. Seda võiks samamoodi paigutada ka Eesti rannikule, kus see koguks otse mereranda visatud prügi kokku enne selle sattumist sügavamale vette. Ekspertide arvates on keskmiseks mereprügi koguseks Eestis ligikaudu 20 kilogrammi 500 meetri rannajoone kohta [24]. Mandri-Eesti rannajoone pikkuseks on 1242 kilomeetrit [25]. Eelnevaid andmeid arvesse võttes leiti töö autor poolt, et selle järgi oleks Eesti mereprügi koguseks 49680 kilogrammi. Mereprügikasti oleks kasulik paigutada see Eesti suurematesse randadesse, kus see vähendaks mereprügi osakaalu tunduvalt.

Lisaks suurele Läänemerele on Eestis veel palju jõgesid ja järvesid, mis pakuvad huvi kaluritele. Autori poolt arvatakse, et kalurid saaksid anda oma panuse Eesti keskkonna reostuse vähendamisele kalastamisel võrkudesse jäänud prügi kokku korjamisega ja selle ringlusessevõttu edasi suunamisega.

Eestis on kasutuses väga tõhus jäätmekäitlussüsteem pandipakendile, kus inimeste poolt viiakse panditähisega plastist ühekorrapakend nimega PET taarapunkti. Inimesed sisestavad pakendi taaraautomaati, mille poolt sorteeritakse pakendid juba vastavatesse kategooriatesse ja pressitakse kokku. Kategooriate tähistust saadakse vaadata Tabelist 10. Uue ideena pakutakse töö autor poolt välja, et taaraautomaat võiks hakata purustama pakendeid, mille märgiseks on plastist ühekorrapakend, sest uue toote valmistamiseks on vaja tooraine kõigepealt purustada helvesteks ja seejärel saadakse nendest alles uut toodet vormida. Sellega hoiaks kokku aega ja ruumi, sest helvestatud plasti mahub kogumispunkti rohkem ja tootjal jääb üks ümbertöötlusprotsess vähemaks enne uue toote loomist.

Tabel 10. Eesti Pandipakendi märgistus

Panditähis [26]						
Pakendi liik	Plastist 1x pakend	Plastist 1x pakend	Metallist 1x pakend	Klaasist 1x pakend	Klaasist korduvkasutusega pakend	Klaasist korduvkasutusega pakend

2016. aastal paisati Eesti turule 311 miljonit ühekordset pakendit, mille kaaluks oli 15,2 tuhat tonni. Plastpakendite kogus sellest oli 4,3 tuhat tonni, millest 87% leidsid enda tee tagasi taaskasutusse. [27] Andmeid töödeldes leiti autori poolt, et plastpakendite kogus 2016. aastal oli 88 miljonit plastpudelit, mis omakorda tähendab, et ligikaudu 11 miljonit ühekordset plastpakendit jäätmekäitlussüsteemi tagasi ei jõudnud.

3.3. Tooted

Paljud suurfirmad nagu eelnevalt kirjeldatud Sony, Adidas ja GANT on hakanud tegelema keskkonnasäästmisega ja plastjäätmest uue elu tootmisega. Eesti lettidele on jõudnud müügile kõigi nende tooted, kuid erinevust taaskasutatud materjalidest toodete ja tavaliste toodete vahel inimsilm ei märkagi. Üheks levinuks variandiks on kasutatud plastpudelitest niidi valmistamine, mida saadakse kasutada kanga algmaterjaliks. Eesti oma ettevõtteks on Sangar AS, mille toodanguks on triiksärgid. Töös arvatakse, et Sangar oleks sobivaks kandidaadiks polüester niidist särkide tootmiseks Eesti kujul. Lisaks pakutakse autori poolt, et triiksärgi juurde sobiks hästi plastjäätmest vormitud lips.

3.4. Ehitus

Eelnevalt on kirjeldatud plastjätmete kasutust nii teedehituse kui ka tsiviilehituse valdkonnas. Kirjeldatud on kahte erinevat teedehituse tehnoloogiat. Üks, mille puhul lisatakse plastjäätmel asfaldi segusse ja teine tehnoloogia, mis kirjeldab teeementide paigaldust. Autori poolt pakutakse, et esimest tehnoloogiat võiks kasutada Eesti teede parandamisel ja teist täiesti uue tee rajamisel. Uurimustöö koostaja poolt leiti eelnevaid andmeid töödeldes, et kui ühe kilomeetri tee rajamiseks kulub tonn plastjäätmel, siis Eesti jätmetest saaks ehitada 63829 kilomeetrit teed. Järgnevalt Tabelist 11. saadakse vaadata palju ehitatakse Eestis teid 2018. aastal.

Tabel 11. Teetööd Eestis 2018. Aastal [28]

Töö	Ehitus	Kattega teede säilitusremont	Kattega teede taastusremont	Rekonstrueerimine
Maht, km	14	1222	224	180

Tabelist loetakse töö autori poolt välja, et sellel aastal ehitatakse Eestis 1640 kilomeetri pikkuses teid. Teetööde mahu suurust mõjutab põhiliselt bituumeni hind.

Peale teedehituse on kirjeldatud tsiviilehituse kolme erinevat materjali hoonete rajamiseks. Autori poolt leitakse, et plastjäätmest tellistest oleks võimalik ehitada seinad ja parendatud betooni saadakse kasutada nii seinaelemendina kui ka põrandavaluna. Eesti omad plasti taaskasutusega tegelevad ettevõtted on juba kirjeldatud PlastRex ja AS Bestor Grupp [29], mille projektiks on plastjäätmest katusekattematerjalide tootmine. Bestor Grupi tegevus võimaldaks aastas tagasi ringlusesse võtta 2400 tonni plastjäätmekogust [29]. Sellega on maja ehitamiseks olemas seinad, põrand ja katus. Betooni tehnilisteks näitajateks on kulu – kaheksakümmend kilogrammi ruutmeetri kohta neljakümne millimeetri paksuse kihi puhul [30]. Andmeid töödeldes, leiti autori poolt, et ehitusel valatakse elamu põrandad keskmiselt saja millimeetri paksused, seega neljakümne ruutmeetrise maja põrandavaluks kulub kaheksa tonni betooni. Kui betooni tugevdamiseks lisada kiiritatud plastjäätmekogust hoiab kaheksa tonni betooni pealt kokku sada kaksikümmend kilogrammi betooni. Ühe neljakümne ruutmeetrise maja telliste tegemiseks kulub kuus tonni plastjäätmekogust, mis tähendab et Eesti üleliigsete plastjäätmekogusest saaks valmistada ligikaudu kümme tuhat maja. Statistikaameti andmebaasist leiti, et 2017. aastal ehitati Eestis 539000 m² suuruses elamupindasid [31].

3.5. Tulemused

Uurimustöö käigus on autori poolt kirjeldatud tehnoloogiaid plastjäätmekogumiseks veekogudest, millega kahjuks Eesti veel ei tegele. Järgnevalt on uuritud ettevõtteid, kes valmistavad plastjäätmekogust tooteid. Nendest ettevõtetest on Eesti enda ettevõteteks PlastRex ja Bestor Grupp. Kahepeale suudavad nad ligikaudu 7% tekkinud jäätmekogust taaskasutada. Jooniselt 1. loeti töö autori poolt välja, et kõige suurem plasti kasutusvaldkond on ehitus. Arvatakse, et selle valdkonnaga on samuti võimalik kõige rohkem plastjäätmekogust taaskasutada. Kahjuks teadlaste poolt uuritud plastjäätmekogust

lagunemisprotsessid on veel uuringujärgus, mistõttu on raske arvata, kas neid oleks kasulik Eestis rakendada.

Järgnevalt analüüsitakse, kas eelnevalt kirjeldatud tehnoloogiatega on võimalik taaskasutada üleliigset plastikogust. Analüüs on näidatud Tabelis 12.

Tabel 12. Kirjeldatud tehnoloogiate analüüs Eesti tingimustes

Tehnoloogia	Kogused	Eesti arvud	Plastjäätmete kogumis/ kasutusvõimalus
Mullivanni efekt	200 km ² päevas	36500 km ²	182,5 päeva
Mereprügikast	1,5 kg päevas	49680 kg = 1242 km	33120 päeva
Plastikalastus	10500 pudelit = 1 paat	3,7 mln pudelit	352 paati
Adidas	11 pudelit = 1 paar jalatseid	3,6 mln pudelit	327273 paari jalatseid
Polüester niit	70 pudelit = 1 m kangast	3,7 mln pudelit	52,8 km kangast
Bureo	2 m ² võrku = 1 rula	...	...
Sea2see	23 grammi prilliraamid	...	...
SORPLAS	99% taaskasutatud plastist	...	...
India teedeehitus	1 t = 1 km	2000 km aastas	2000 tonni plastjäätmteid
PlasticRoad	70% kiirem ehitus	6500 km aastas	6500 tonni plastjäätmteid
Tellised	6 t = 40 m ² maja	539000 m ²	80850 tonni plastjäätmteid
Betoon	1,5 % plastjäätmteid	3 kg/m ²	1617 tonni plastjäätmteid
PlastRex	2400 tonni segajäätmteid	56110 t	2400 tonni segaplastjäätmteid
Bestor Grupp	2400 tonni plastjäätmteid	63829 t	2400 tonni plastjäätmteid
Tehnisensüüm	6 nädalat lagundab	...	...
Vahaleediku röövik	1 mg 12 h	...	...
Prügist plastiks	...	...	...

Töö autori poolt koostatud tabelist saadakse välja lugeda, et kirjeldatud tehnoloogiatega on võimalik taaskasutada 93767 tonni plastjäätmteid aastas. See on 24% rohkem kui 2016. aastal plastjäätmteid kokku tekkis ja 29938 tonni rohkem kui oli vaja veel taaskasutada. Uurimustöö koostaja poolt arvatakse, et kirjeldatud tehnoloogiatega on võimalik taaskasutada täielikult Eesti ringlusesse võtmata jäänud plastjäätmete kogus, kuid arvestada tuleb sellega, et Eesti ei tegele veel plastireostusega Läänemeres, mis toob juurde lisa plastjäätmteid. Õnneks on leitud tehnoloogiatega veidike varu nende plastjäätmete taaskasutamiseks.

KOKKUVÕTE

Plastireostus on ülemaailmne probleem, millega tegelevad paljud erinevad riigid ja ettevõtted. Plastjäätmete taaskasutamine saab alguse jäätmete kogumisest, millele järgneb nende sorteerimine, puhastamine, purustamine, sulatamine, granuleerimine ja uue toote vormimine. Uurimuse käigus selgus, et tehnoloogia kõikide ümbertöödeldud plasttoodete valmistamiseks on sarnane, kuid oluline on lõppprodukt ehk toode.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida erinevate plastjäätmete taaskasutuse tehnoloogiaid. Eesmärgi saavutamiseks sooritati järgmised ülesanded:

- 1) anti ülevaade plastidest;
- 2) uuriti plastjäätmete taaskasutamise tehnoloogiaid;
- 3) analüüsiti tehnoloogiate kasutusvõimalust Eestis.

Töö raames uuriti plastide ajalugu, nende valmistamist ja liigitust. Saadi teada, et plastid on perekond paljudest erinevatest materjalidest koos nende mitmesuguste omadustega. Plastid jagunevad kahte suurde gruppi: termoplastseiks, mis sulavad kõrgel temperatuuril ja termoreaktiivseteks, mis ei sula kuumutamisel.

Järgnevalt uuriti plastide olemasolevaid taaskasutamise tehnoloogiaid. Uudseid tehnoloogiaid leiti jäätmete kogumise ja uute toodete valmistamise kohalt. Paljud teadlased on tegutsenud selle nimelt, et plastjäätmel saaksid veekogudest mandrile ja siin juba uuesti jõuaksid jäätmete ringlusesse, kus neid saab korduvalt taaskasutada.

Viimasena analüüsiti tehnoloogiate kasutusvõimalust Eestis. Autori poolt arvatakse, et uuritud tehnoloogiatega on võimalik taaskasutada kõik Eesti plastjäätmel ja jääb veel varugi selleks ajaks kui Eesti peaks hakkama tegelema plastireostusega Läänemeres.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Meister, M.** (2018). Tulevik on plastastiline. – *Imeline Teadus*. Nr 2, lk 22-37.
2. **Kulu, P., Kübarsepp, J., Laansoo, A., Veinthal, R.** (2015). Materjalitehnika I: Tehnomaterjalid. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 337 lk.
3. **Plastics – the Facts 2017.** (2017). PlasticsEurope.
https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdfv (14.05.2018).
4. **Kozlov, J.** (1988). Materjaliõpetus. Tallinn: Valgus. 182 lk.
5. **BNS.** (2016). Ati Profiil plaanib toota põlevkivituhast 500 000 tonni plasti aastas. – *Postimees*. [e-ajakiri] <https://majandus24.postimees.ee/3629017/ati-profiil-plaanib-toota-polevkivituhast-500-000-tonni-plasti-aastas> (14.05.2018).
6. **Plastid ja penoplast.** (2018). MTÜ Keskkonnateenused. <https://jaatmejaam.ee/plastid-ja-penoplast/> (14.05.2018).
7. **Biolagunev plast võib osutuda keskkonnale isegi kahjulikumaks.** (2016). Bioneer. <https://www.bioneer.ee/biolagunev-plast-v%C3%B5ib-osutuda-keskkonnale-isegi-kahjulikumaks> (14.05.2018).
8. **Plastic Whale.** (2018). [veebileht] <https://plasticwhale.com/> (14.05.2018).
9. **Adidas.** (2018). [veebileht] <https://www.adidas.com/us/parley> (14.05.2018).
10. **Seaqal.** (2018). [veebileht] <http://www.seaqal.com/> (14.05.2018).
11. **Bureo.** (2018). [veebileht] <https://bureo.co/> (14.05.2018).
12. **Sea2see.** (2018). [veebileht] <https://www.sea2see.org/pages/sustainability> (14.05.2018).
13. **SORPLAS.** (2018) [veebileht] <https://www.sony.com/electronics/sorplas-recycled-plastic> (14.05.2018).
14. **Subramanian, S.** (2016). Plastic roads: India's radical plan to bury its garbage beneath the streets. – *The Guardian*. [e-ajakiri] <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2016/jun/30/plastic-road-india-tar-plastic-transport-environment-pollution-waste> (14.05.2018).
15. **PlasticRoad.** (2018). [veebileht] <https://www.plasticroad.eu/> (14.05.2018).
16. **Conceptos Plastos.** (2018). [veebileht] <https://conceptosplasticos.com/> (14.05.2018).
17. **Keskkonnameedia.** (2017). MIT students fortify concrete by adding irradiated recycled plastic. – *Environmental Advisory*. [e-ajakiri] <http://environmentaladvisory.ee/index.php/2017/10/31/concrete-irradiated-recycled-plastic/> (14.05.2018).

18. PlastRex. (2018). [veebileht] <https://plastrex.eu/et/meist/> (14.05.2018).
19. Vaata, kuidas plasti „sööv” ensüüm aitab tulevikus plastireostuse vastu võidelda. (2018). FORTE. <http://forte.delfi.ee/news/maa/video-vaata-kuidas-plasti-soov-ensuum-aitab-tulevikus-plastireostuse-vastu-voidelda?id=81804945> (14.05.2018).
20. EL seab jäätmekäitlusele uued sihtarvud. (2017). Tallinn: Keskkonnaministeerium. <https://www.envir.ee/et/uudised/el-seab-jaatmekaitlusele-uued-sihtarvud> (18.05.2018).
21. KK82: Jäätmed. (andmed uuendatud 15.12.2017). – *Eesti Statistika andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (18.05.2018).
22. **Leevik, M., Kovtun-Kante, A.** (2018). Tähelepanu all on plastprügi. – *Keskkonnaagentuur*. [veebileht] <http://www.keskkonnaagentuur.ee/et/uudised/tahlepanu-all-plastprugi> (18.05.2018).
23. Eesti meri. (2018). NEMA. <http://nema.bef.ee/et/> (18.05.2018).
24. Eesti merestrateegia meetmekava. (2016). Tallinn: Keskkonnaministeerium. https://www.envir.ee/sites/default/files/meetmekava_032017_f.pdf (18.05.2018).
25. **Loopmann, A.** (1996). Eesti meresaarte nimestik. Tallinn: Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus. 84 lk.
26. Kuidas pandisüsteem töötab? (2018). Eesti Pandipakend. <https://eestipandipakend.ee/kuidas-pandisusteem-tootab/> (14.05.2018).
27. Majandusaasta aruanne. (2016). Tallinn: Eesti Pandipakend. <https://eestipandipakend.ee/wp-content/uploads/2012/01/EPP-aastaruanne-2016.pdf> (18.05.2018).
28. **Luts, P.** (2018). Kaardid ja video: maanteeamet andis ülevaate suurematest teetöödest. – *ERR*. [veebileht] <https://www.err.ee/693870/kaardid-ja-video-maanteeamet-andis-ulevaate-suurematest-teetoodest> (19.05.2018).
29. **Ratt, K.** (2010). Eestis hoogustub plastjätmete taaskasutus. – *Postimees*. [veebileht] <https://www.postimees.ee/328707/eestis-hoogustub-plastjaatmete-taaskasutamine> (19.05.2018).
30. BE Kuivbetoon/betoonpõrand. (2018). Sakret. <http://www.sakret.ee/product/be-kuivbetoonbetoonporand/> (19.05.2018).
31. EH05: Elamuehitus. (andmed uuendatud 23.02.2018). – *Eesti Statistika andmebaas*. <http://pub.stat.ee/> (19.05.2018).

SUMMARY

Plastic pollution is a global problem that is addressed by many different countries and companies. Recycling of plastic waste starts with the collection of waste, followed by their sorting, crushing, cleaning, melting, granulation and shaping into the new product. The study revealed that the technology to manufacture recycled plastic products are similar, but the final product is the main thing that counts.

The aim of the bachelor's thesis was to research different technologies to recycle plastic waste. To achieve the goal, the following tasks were done:

- 1) overview of plastics;
- 2) explored plastic waste recycling technologies;
- 3) analyzed the use of technologies on Estonia.

Thesis gave an overview about plastics history, their production and classification. Plastics are a family of many different materials with their various properties. The plastics are divided into two large groups: a thermoplastic, which melts at high temperature and thermosetting, which does not melt when heated.

The plastic recycling technologies were then examined. Innovative technologies were found in the field of waste collection and production. Many scientists have been working in cause to collect plastic waste from water bodies and transport them to the mainland. The purpose of this remains only when the plastic stays in recycling system and are reused several times.

The technologies are described and analyzed so they could be used in Estonia if possible. The author is thinking that with the help of technologies from research it is possible to recycle all the plastic waste produced in Estonia. There is even a reserve for the time when Estonia starts to collect plastic waste from the Baltic Sea.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Elina Laks,
(sünniaeg 24.01.1994)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Plastjäätmete taaskasutuse tehnoloogiate uurimus”, mille juhendaja on lektor Lemmik Käis,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)